

学校编码: 10384
学号: X2011181018

分类号_____密级_____
UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

提高白光 LED 色坐标对档率研究

Research on Improving the Accuracy of Color Coordinates
of the White LED

郭群强

指导教师姓名: 刘 宝 林 教授

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2014 年 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

LED 灯具有寿命长、发光效率高、全固态、节能环保等优点，正在逐渐取代发光效率低的白炽灯和含有重金属的荧光灯，成为最有前途的第四代照明光源之一。本文首先简单介绍了 LED 的发展历史和发展前景、LED 的结构和工作原理、白光 LED 主要的实现方式、白光 LED 用的荧光粉、几种常见的白光 LED 封装形式、现在工厂常见的白光 LED 产品的封装工艺流程等，重点讨论三种提高白光 LED 产品色坐标对档率的工艺方法。

提高白光 LED 产品色坐标对档率的工艺方法之一是在荧光胶的配制过程中加入抗沉淀粉。抗沉淀粉粒径很小，通常小于 $0.5\mu\text{m}$ ，具有疏水性，比表面积大且具有极高的透明度，可用于液体系统、聚合物等的流变性与触变性的控制，也可用来调节其粘度和流动性，保持荧光粉粉末的流动和抗结块。抗沉淀粉加入荧光胶中并均匀搅拌后，可以产生立体网状结构，增加溶液的粘度，从而起到荧光粉抗沉淀的作用。由于荧光胶不易沉淀，色坐标集中度就会得到提高，从而提高了白光 LED 产品的对档率。采用抗沉粉工艺后，在保证 92.5%合格率的条件下，白光 LAMP LED 色坐标变化区间 Δy 可以由未添加抗沉淀粉时的 0.6 减小到 0.5。3528 封装的白光 LED 产品在保证 98%合格率的情况下， Δy 可从 0.4 减小到 0.32。

另一种提高白光 LED 产品色坐标对档率的工艺方法是让荧光粉充分沉淀。利用这种方法可使白光 LED 产品色坐标集中度比较高，从而提高了白光 LED 产品的色坐标对档率和合格率。具体实施方法是借助离心力，采用荧光粉沉淀机对点完荧光胶但未烧结的产品进行充分沉淀，最后再进行烧结。采用沉淀工艺后，在 Δy 为 0.3 的条件下，色坐标对档率可以提高 3%。

第三种提高白光 LED 产品色坐标对档率的工艺方法是荧光胶的快速固化。在点胶机台旁边放置加热台，点完荧光胶的白光 LED 产品马上在 120°C 的恒温加热条件下加热 1 分钟使荧光粉初步固化，这样可大大减少了荧光粉的无规则运动时间从而避免荧光粉的沉淀。采用快速固化工艺后，COB 封装白光 LED 产品的合格率由未采用快速固化工艺的产品的 80%提高到了 94%，而且点胶效率是提高了 6 倍。

关键词：白光 LED；荧光粉；封装；色坐标对档率

Abstract

With the advantages of long lifetime, high luminous efficiency, solid-state, energy saving and environmental protection, LED lamps have been substituting the low luminous efficiency incandescent lamp and the fluorescent lamp which contain mercury heavy metal. It has been considered as one of the most promising forth generation of lighting source. In this paper, the development history and the prospect, the structure and working principle of the LED, the main implementation of white LED, the phosphor for white LED, as well as the common packaging process of white LED products in factory has been brief introduced and three kinds of technology methods to improved color coordinates accuracy of the white LED have been discussed in detail.

The first method to improve the color coordinates accuracy of the white LED is doping the resistance precipitation powder into the phosphor power during the preparation process. The size of the resistance precipitation powder is very small, generally less than $0.5\ \mu\text{m}$. It is hydrophobic, high transparency and has large specific surface area. It can be used to regulate the viscosity and flow freely, keep the phosphor powder flow and anti-caking. Stirring in the phosphor glue, it can form a three-dimensional network structure, which can increase the viscosity of the solution and avoid the phosphor sedimentation. With the resistance precipitation powder, the phosphor glue is not easy to precipitate, as a result, the concentration and the accuracy of the color coordinate of the LED can be improved. Under the white LAMP LED qualified rate higher than 92.5% condition, the vary interval of the color coordinates Δy can be reduced to 0.5 by comparing that of 0.6 which does not dope resistance precipitation powder. For the 3528 SMD package white LED 98% qualified rate requirement, Δy can be reduced from 0.4 to 0.32.

The second method is to precipitate the phosphor glue completely before sintering. The phosphor can be distributed uniformly within the glue, thus, the

concentration and the accuracy of color coordinate of the white LED products can be improved and the qualified rate of the products can be increased. The precipitation process is to carry out as the following: the LED chips which coat with phosphor glue were fixed at the dispenser machine. Power on the dispenser machine, the phosphor can be precipitated by the centrifugal force. By using this precipitation process, in the case of Δy equal to 0.3, the accuracy of color coordinate can be increased 3%.

The third method is the rapid solidification of the phosphor glue. With this process, a heating station was installed in the vicinity of the dispenser machine. After dispensing phosphor glue, the white LED chips were constant temperature heated immediately by the heating station at 120°C for 1 minute. So the phosphor glues can be solidified quickly and the precipitation probability of the phosphor can be greatly reduced. By using the rapid solidification of the phosphor glue method, the qualified rate of the COB package white product can be increased from 80% to 94%, and the dispensing efficiency can be increased 6 times by comparing with that of without rapid solidification process.

Keywords: White LED; Phosphor; Package ; Color Coordinates Accuracy

目录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 LED 的发展史和发展前景	2
1.2.1 LED 发展历史	2
1.2.2 LED 发展前景	2
1.3 本论文研究内容	4
第二章 LED 产品相关知识	5
2.1 LED 发光原理	5
2.2 白光 LED 原理	6
2.2.1 三种 LED 白光的原理	6
2.2.2 白光 LED 用荧光粉	8
2.3 白光 LED 封装工艺流程	11
2.3.1 装架	12
2.3.2 键合	12
2.3.3 点荧光胶	13
2.4 相关理论	16
2.4.1 色度学	16
2.4.2 CIE1931-XYZ 色度系统	17
2.4.3 色温和相关色温	18
2.4.4 显色指数	19
第三章 荧光胶中加抗沉淀粉	20
3.1 试验原理	20
3.2 试验方案	20
3.3 白光 LAMP LED 荧光胶中加抗沉淀粉	20
3.3.1 LAMP LED 试验背景	20
3.3.2 LAMP LED 试验方案	21
3.3.3 荧光胶沉淀的直观表现	21
3.3.4 荧光胶沉淀的色坐标表现	23
3.3.5 结论	28
3.4 白光贴片产品 3528 荧光胶中加 480 抗沉淀粉	29
3.4.1 3528LED 试验背景	29
3.4.2 3528LED 试验方案	30
3.4.3 试验结果分析	31
3.5 结论	37
第四章 沉淀工艺	38

4.1	沉淀工艺背景	38
4.2	试验设备介绍	38
4.3	沉淀工艺试验方案	39
4.4	试验数据对比	40
4.5	结论	46
第五章 快速固化		47
5.1	试验背景	47
5.2	影响 COB 白光产品色温因素试验分析	48
5.2.1	点胶后色温随不同放置时间的变化规律	48
5.2.2	彻底沉淀后烧结前后色温变化	49
5.2.3	少量荧光胶不同位置对色温的影响	50
5.3	快速固化验证	53
5.3.1	快速固化温度时间确认	54
5.3.2	快速固化结果	55
5.4	结论	57
第六章 总结		58
参考文献		59
致谢		61
攻读硕士学位期间获得的专利		62

Content

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Introduction	1
1.2 The History And Future Development Of LED	2
1.2.1 The History Of LED Development	2
1.2.2 Future Development Of LED	2
1.3 Research Content Of The Paper	4
Chapter 2 Knowledge Of LED Products	5
2.1 LED Light-Emitting Principle	5
2.2 The Principle Of White LED	6
2.2.1 The Principles Of Three Kinds Of White LED	6
2.2.2 Phosphor For White LED	8
2.3 Packaging Process Of White LED	11
2.3.1 Die Bonding	12
2.3.2 Bonding	12
2.3.3 Dispensing Phosphor	13
2.4 Related Theory	16
2.4.1 Colorimetry	16
2.4.2 CIE1931—XYZ Color System	17
2.4.3 Colour Temperature And Correlated Color Temperature	18
2.4.4 Color Rendition Index	19
Chapter 3 Adding Resistance Precipitation Powder	20
3.1 Experiment Principle	20
3.2 Experiment Scheme	20
3.3 Experiment In Lamp LED	20
3.3.1 Experiment Background Of Lamp LED	20
3.3.2 Experiment Scheme Of Lamp LED	21
3.3.3 Visual Performance Of Phosphor Precipitation	21
3.3.4 Color Coordinate Expression Of Phosphor Deposition	23
3.3.5 Conclusion	28
3.4 Experiment In 3528 LED	29
3.4.1 Experiment Background Of 3528 LED	29
3.4.2 Experiment Scheme Of 3528 LED	30
3.4.3 Analysis Of Test Results	31
3.5 Conclusion	37
Chapter 4 Precipitation Technology	38

4.1	Background Of Precipitation Technology	38
4.2	Introduction Of Test Equipment.....	38
4.3	Scheme Of Precipitation Technology Test.....	39
4.4	The Test Data Comparison.....	40
4.5	Conclusion	46
chapter 5 Fast Curing		47
5.1	Experiment Background.....	47
5.2	Factors Affecting Color Temperature Of COB Products.....	48
5.2.1	Color Temperature With Different Time After Dispensing.....	48
5.2.2	Color Temperature Change Before And After Total Precipitation.....	49
5.2.3	Effects Of Small Amount Of Phosphor Glue Different Position Of Color Temperature	50
5.3	Fast Curing Test	53
5.3.1	The Fast Curing Temperature Confirmation.....	54
5.3.2	Fast Curing Results	55
5.4	Conclusion	57
Chapter 6 Conclusion		58
Referances		59
Thank		61
The Obtained Patent During Studying For Master Degree.....		62

第一章 绪论

1.1 引言

从人类诞生的那时起,照明^[1]就一直伴随着人类的整个发展史。蒙昧的远古时代,人类过着日出而作,日落而息的最原始的生活,大自然的恩赐—阳光,成为唯一的照明方式。后来人类祖先的一位聪明者在受到鸟啄燧木出现火花而受到启示后发明了钻木取火。从人类学会钻木取火,照明工具发展过很多次的变化,度过了从火、油到电的变革。从火把、动物脂肪油灯、植物脂肪油灯、蜡烛、煤油灯到白炽灯、日光灯,直到我们现在常见的各种漂亮的装饰灯和节能灯等,一部照明的历史也是人类文明发展的佐证。

人类使用煤油灯^[2]经过了几次发展。油灯所使用的油,最开始是动物油,然后是植物油,最后才是煤油。灯芯也是从“草”变化到“棉线”直到“多股棉线”。灯罩从开始的纸进化到玻璃罩,从而让油灯可以不受风吹的影响,可以在室外使用。

虽然发展到了油灯照明,可是人类依然没有停止照明发展的脚步。公元前三世纪左右,有人创造性的使用了蜂蜡来制作蜡烛。到了十八世纪,用石蜡制造的蜡烛开始用机器大规模生产。

一个多世纪以前,煤油灯被英国人发明了出来。这是一种进步十分显著的照明方式。最开始,这种灯在室内使用十分危险,只能用在室外照明。后来经过人们的不断改进,煤油灯最终才走进千家万户。

以上的这些照明工具都没离开火。从 1879 年 10 月 22 日,人类的照明历史翻开了崭新的一页。在这天,爱迪生点燃了第一盏有广泛的真正实用价值的电灯。人类也就从那时起,走上了用电照明之路,直到现在。

白炽灯存在了也有上百年了,现在由于白炽灯的效率是所有电照明方式中最低的。它消耗的电能大概有 2% 转化为光能,其它大部分都是都以热能的形式损耗了。最要命的是这种电灯的常规使用寿命一般不大可能超过 1000 小时。正因为如此,全世界各种都把淘汰白炽灯提上了日程。

随着白炽灯即将寿终正寝,具有高效、节能、长寿命、环保等一系列优点的发光型半导体---LED 的新一代照明光源即将彻底取代传统的照明光源,这将是人类照明史上又一次深刻的变革。

1.2 LED 的发展史和发展前景

1.2.1 LED 发展历史

1907 年, SiC 电致发光现象第一次被 Henry Joseph Round 发现^[3]。1923 年, O.W.Leslew SiC 的 P-N 结具有单向导电性和发光的现象被观察到。SiC 发出的黄光太暗, 不大适合实际使用。

1955 年, 研究半导体理论和发光现象都取得了突破。英国科学家使用半导体 GaAs 发明了首个 LED, 这具有现代意义, 是现有 LED 的雏形, 在 60 年代和大众见面, 这是首个使用磷化物在砷化镓基体上发明的可发红光 LED。磷化镓的出现可以让 LED 发出更亮和更高效的红光, 连橙色的光都可以发出。

1985 年, 该领域的科学家们将铝元素引入到砷化镓材料中, 科学家们成功研发了第一代高亮度的 LED, 他们将铝元素引入到 GaAs 材料中。80 年代早期到中期, 砷化镓磷化铝的使用, 先是研制成功了红色, 接着就是黄色, 最后为绿色。

1989 年, LED 发展史上的又一里程碑出现了, 高亮度蓝色和绿色发光二极管由日亚化学公司中村修二研制出来, 他是在 GaN 基材料上实现的。九十年代是半导体发展最快的时候, LED 光源也在这个时候快速发展。1997 年开发出紫色 LED 和蓝紫色 LED 样品, 1998 年的时候成功研制了白光 LED 光源, 它是将 GaN 芯片和钇铝石榴石 (YAG) 封装在一起做成的。随着人类在 LED 超亮度的领域的技术进步, LED 在消费电子的运用也越来越广泛。从此 LED 进入蓬勃发展之中^[4]。

1.2.2 LED 发展前景

近期, 美国科锐公司(Nasdaq: CREE)宣布白光功率型 LED 实验室光效达到 303lm/W, 这是科锐继去年发布 276lm/W 后, 又一标志性研发成果, 再度让业界眼前一亮。这远远超过目前市场上最优质的日光灯和普通灯泡所能达到的 100 流明/瓦和 15 流明/瓦。303lm/W 是令人瞩目的成就, 能够取得这一水平的 LED 光效, 将扩大固态照明产业的潜能, 带来更小尺寸和更低成本照明解决方案, 甚至取得比预期中要更为显著的能源节约。据了解, 国内一些公司生产的大功率白光 LED 已经可以很轻松达到 150lm/W。LED 技术以令人瞠目结舌的速度快速发展着, 并成为最具发展前景的照明光源。

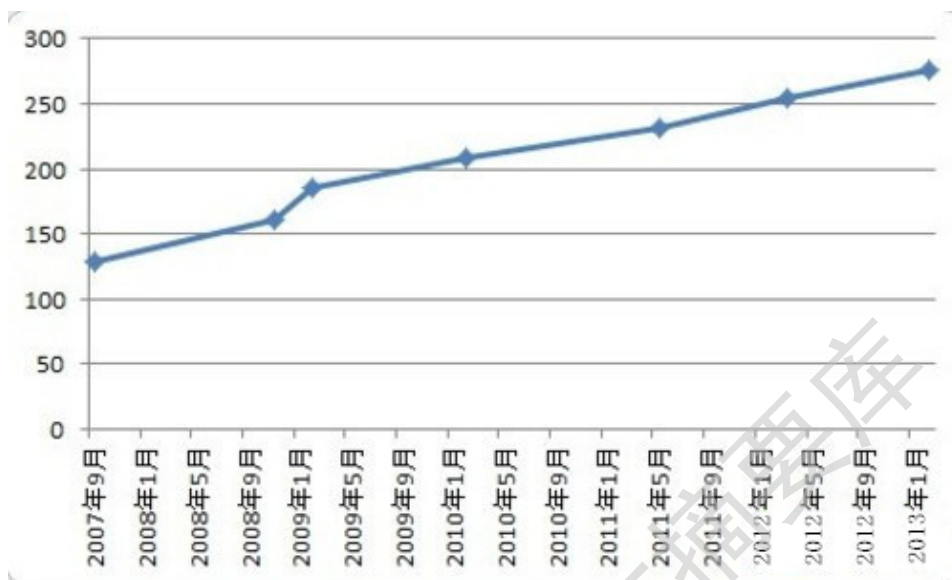


图 1 科锐光效发展图

欧洲 LED 产商的主要代表是荷兰的 philips 公司和德国的 Osram 公司。他们在车用灯具技术、芯片领域、白光 LED 的荧光材料及正装功率型封装技术等方面占有很大优势。

日本在 LED 产业起步比较早，发展至今，日本在白光 LED 用荧光粉、芯片结构与制造、GaN 基外延层等应用技术领域拥有的专利数量均排在世界第一，并且在白光 LED 技术方面呈领先优势^[5]。

我国 LED 产业从 1960 年左右开始发展，80 年代形成产业，90 年代初具规模。现在我国超高亮度 LED 产业迅猛发展，始终跟随世界 LED 产业快速发展的步伐。近年来，节能减排很受国家的重视，大学、科研机构加大研发力度、863 光电子项目的投入，各地方政府及企业也积极的参与，使得 LED 发展已具有相当规模，并形成了规模宏大的 LED 产业链。

目前，我国已制定相关政策进一步推动 LED 市场大规模发展。2012 年 8 月，科技部发布半导体照明“十二五”规划，提出至 2015 年，半导体照明在通用照明市场的份额要达到 30%。10 月起，我国已禁止进口和销售 100 瓦以上白炽灯。业内预计，未来几年内，中国 LED 照明市场将迎来发展高峰期，市场需求量有望突破 1000 亿只，市场份额达到 30%以上。

国内推进节能减排的力度加大，淘汰白炽灯步伐明显加快;欧美市场复苏明

显,全球主要国家和地区的白炽灯禁售计划开始实施。不少国内机构认为,随着人们节能环保意识的提升、产品价格的下跌和技术的进步,LED 全面取代传统光源的时代已经到来。预计 2014 年全球 LED 照明市场将增长 90%,中国作为全球 LED 照明的主要生产基地,将迎来爆发式增长。

此外,美国从 2014 年 1 月 1 日起全面禁止生产和进口白炽灯,欧盟从 2012 年起全面禁用白炽灯,日本和韩国也分别从 2012 年、2013 年起开始全面禁用白炽灯。LED 市场的发展潜力很大,我国有一半以上的 LED 产品出口到海外。由于 LED 照明的制程短、技术相对容易掌握,中国在 LED 照明的细分领域均已具备成本优势。近年来,我国企业在国际市场的份额也在不断扩大,中国企业凭借日趋成熟的技术、低廉的价格已经完全能够满足国际市场的需求。未来几年,我国 LED 行业还会迎来大增长^[6]。

1.3 本论文研究内容

我所在的公司主要从事 LED 封装,公司的大部分产品都是定制的,要求都会比其他公司高,尤其是白光产品的色坐标要求都比较严,达不到公司要求的色坐标产品一般都是直接报废掉,损失都比较大。我在公司一直负责的是白光产品的开发和工艺工艺,工作中一直想方设法努力提高白光产品色坐标的对档率,以此来提高公司白光产品的合格率,从而降低公司白光产品的成本和提高公司白光产品在市场上的竞争力。

公司的白光产品主要有直插式的 LAMP LED、贴片式 LED (如 3014、3020、3528、2835、5630 等)、仿流明式 LED、食人鱼 LED 和 COB LED 灯,这也是我能接触到的不同分装类型的白光 LED。在工作过程当中,努力提高白光产品色坐标的对档率既是我工作需要解决的问题,也是本论文的研究内容。

我主要从白光 LED 封装中的点胶工艺入手,以此来努力提高白光 LED 产品的色坐标对档率。提高白光关键点在于控制芯片上方荧光粉量的一致性,因为光线大部分是从 LED 蓝光芯片上方发出的,芯片上方荧光粉量的一致性能保证的话,蓝光激发出的黄光一致性就能保证,未激发的蓝光和激发出来的黄光混合出来的白光的色坐标集中度也就会比较好,白光产品色坐标对档率提升比较明显。

本论文主要从“荧光胶中加抗沉淀粉”、“沉淀工艺”和“快速固化”三种工艺进行验证,验证对白光色坐标对档率的贡献。

第二章 LED 产品相关知识

2.1 LED 发光原理

发光二极管（LED：light emitting diode）是一种可以将电能转换为光能的半导体器件。它的主要结构如图 2 所示：

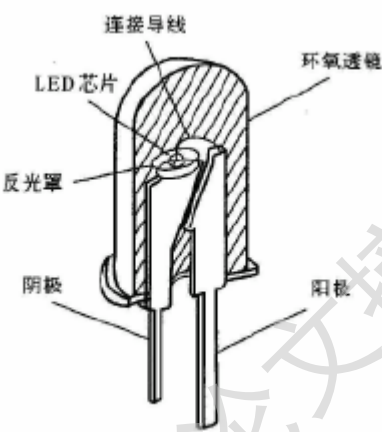


图 2 单管 LED 结构

发光二极管的核心部件是一个半导体芯片。半导体芯片主要由电子占主导地位的 N 型半导体和空穴占主导地位的 P 型半导体两部分构成的，从而形成 P-N 结。通过掺杂工艺使 N 型区内电子很多而空穴很少，P 型区内空穴很多而电子很少。多子的扩散（浓度差导致）与少子的漂移（PN 区的内建电场作用导致）的动态平衡使得 P 区与 N 区之间形成 PN 结（耗尽层）。

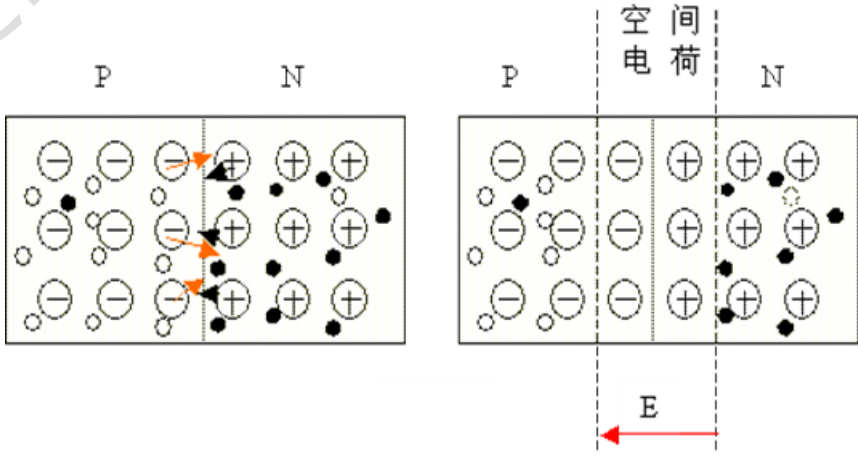


图 3 PN 结形成示意图

当在 PN 结两端加上正向偏压之后，动态平衡被破坏，电子在电场作用下由 N 区注入 P 区，空穴由 P 区注入 N 区，进入对方区域的少数载流子（少子）与多数载流子（多子）复合，就会以辐射光子的形式将多余的能量转化为光能^{[8][9]}。如图 4 所示。

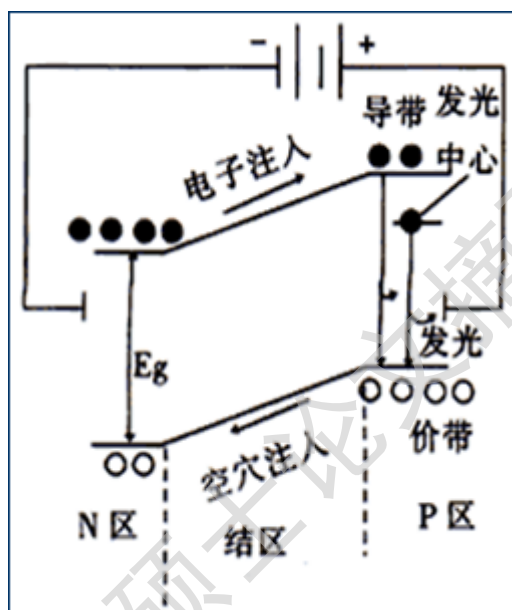


图 4 PN 结加电压

光的峰值波长 λ_P 与半导体材料禁带宽度 E_g 有关，即 $\lambda_P \approx 1240/E_g$ (nm) E_g 的单位：电子伏特 (eV)。若能产生可见光（波长在 380nm 紫光~780nm 红光），半导体材料的 E_g 应在 3.26~1.63eV 之间。

2.2 白光 LED 原理

2.2.1 三种 LED 白光的原理

现在实现白光 LED^[10]的主要以下三种方式：

- 用蓝光 LED 激发黄色荧光体^[11]。这种白光就是将 YAG 荧光物质与蓝光 LED 放在一起，用蓝光激发荧光物质发出黄光，黄光和未激发的蓝光混合，这样它发出的光就是白光。在这方面日亚化学公司拥有世界性的专利。但是用此种方法发出的白光有一个缺陷，就是显色指数不高。为了改善此种白光方式的不足，在黄色荧光粉的基础上还会再添加一定比例的橙色荧光粉，或者黄色荧光粉、绿色荧光粉、红色荧光粉，用三种荧

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库